

На правах рукописи

**Соколов Михаил Сергеевич**

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ И  
АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И АТРИБУТИВНОЙ  
ИНФОРМАЦИИ В МУНИЦИПАЛЬНЫХ ГИС ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ  
ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информационные, телекоммуникационные и инновационные технологии)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Муром  
2012

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Научный руководитель      доктор технических наук, доцент  
Андрианов Дмитрий Евгеньевич

Официальные оппоненты:

ФИНКЕЛЬШТЕЙН Михаил Янкелевич  
Доктор технических наук,  
главный научный сотрудник ВНИИгеосистем,

ТРУФАНОВ Максим Игоревич  
Кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники  
ФГБОУ ВПО "Юго-Западный государственный университет".

Ведущая организация:      Рязанский государственный  
радиотехнический университет  
(ФГБОУ ВПО «РГРТУ»)

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г. в \_\_\_\_\_ на заседании диссертационного совета Д.800.017.02 при Международном университете природы, общества и человека «Дубна», по адресу: Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19, аудитория \_\_\_\_\_.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Международного университета природы, общества и человека «Дубна», по адресу: Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Токарева Н.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** К настоящему времени в различных муниципальных службах накоплены большие объемы сложно-структурированной информации, которая имеет привязку к картографической основе. Правительство РФ требует перехода к оказанию услуг в электронном виде по принципу «одного окна». Причем прямо указывается задача сокращения времени реагирования муниципальных служб на обращения физических и юридических лиц для повышения эффективности их обслуживания. Следовательно, при решении муниципальных управленческих задач возникает необходимость в автоматизации процесса обработки и анализа данных о городском хозяйстве.

Таким образом, для принятия обоснованных управленческих решений используется информация, включающая в себя пространственную и атрибутивную составляющие. Помимо базовых характеристик муниципальных объектов используются взаимосвязанные данные о собственниках, арендаторах, их договорах и начислениях по ним, льготы по оплате, сведения о задолженностях, виды и категории использования, виды правообладания, оценки по датам, сопроводительная документация и прочее. В виду этого обработка обращений граждан и юридических лиц часто осуществляется за период времени, превышающий десять дней.

Можно укрупненно выделить ряд задач, решаемых в сфере управления городским хозяйством:

- анализ размеров земельных участков и их пространственного расположения;
- отбор пространственно-распределенных объектов по заданным параметрам, включая их пространственные и атрибутивные сведения;
- сравнение характеристик объектов городского хозяйства на основе различных критериев, удельных значений и их визуального отображения на имеющейся картографической основе;
- поиск муниципальных объектов по принадлежности к собственнику или арендатору с учетом движения имущества для контроля правил землепользования и планирования застройки;
- поиск объектов городского хозяйства, на которые у муниципального образования возникает, либо истекает право собственности.

В настоящее время информация, необходимая при решении вышеуказанных задач, организована в виде реестров. Эффективный доступ к таким сведениям возможен на основе интеграции этих реестров в единую систему, связанную с городской картографической основой.

Первые три задачи могут решаться на основе только геоинформационных систем (ГИС), без привлечения других информационных систем. Атрибутивные данные по пространственным объектам могут храниться во внешних системах, или во встроенных СУБД. Однако в этом случае акцент использования муниципальных сведений должен быть смещен в сторону картографической обработки. Но при этом возникают трудности с её реализацией, в виду большого количества взаимосвязей сущностей муниципальных данных.

Решение последних двух задач возможно через применение обособленных муниципальных информационных систем (МИС), не связанных с геоинформационными. Но при использовании только МИС в качестве СУБД, обрабатывающих сложно-структурированные данные о городском хозяйстве, теряется возможность гибкой работы с картографическим материалом и принятия решений на его основе.

Таким образом, разносторонний анализ данных о городском хозяйстве является информационной основой для обоснованного принятия управленческих решений. Но его применение на основе обособленных ГИС и МИС увеличивает временные затраты на доступ к данным и, как следствие, затрудняет принятие оперативных управленческих решений в муниципальных службах. Поэтому необходима разработка и применение программных средств, повышающих скорость обработки и анализа пространственной и атрибутивной информации о городском хозяйстве за счет ее интегрированного представления.

Вопросы использования пространственных и атрибутивных данных в ГИС рассмотрены в работах А.М. Берлянта, Л.С. Берштейна, Е.Г. Капралова, Н.И. Конона, А.В. Кошкарева, И.К. Лурье, А.Н. Пылькина, И.Н. Синицына, В.С. Тихунова, А.М. Трофимова, Д.Е. Андрианова, В.Я. Цветкова, Е.Н. Черемисиной, С.В. Абламейко. Но проблеме сокращения времени доступа к большим массивам сложноструктурированной, разнородной информации для поддержки принятия оперативных управленческих решений в них уделялось мало внимания.

В виду этого, актуальность работы обосновывается необходимостью разработки новой модели интегрированного описания данных, способа организации информации и алгоритмов оперативного анализа и обработки данных в муниципальной геоинформационной системе для поддержки принятия управленческих решений.

**Объект исследования:** принятие управленческих решений с использованием разнородной информации, хранящейся в муниципальных ГИС.

**Предмет исследования:** модели и алгоритмы обработки и анализа сложноструктурированных муниципальных пространственно-атрибутивных данных на основе их интеграции и применения геоинформационных технологий.

**Цель и задачи исследования.**

Целью диссертационной работы является разработка алгоритмической поддержки, направленной на сокращение временных затрат при принятии оперативных решений в муниципальных службах на основе интеграции пространственной и атрибутивной информации в муниципальных ГИС (МГИС). Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решены научно-технические задачи.

- 1) Сравнительный анализ существующих автоматизированных систем управления городским хозяйством и подходов, применяемых к работе с данными в них, с целью определения путей сокращения времени необходимого для оперативного принятия управленческих решений.
- 2) Разработка теоретико-множественной модели, описывающей взаимосвязи объектов муниципальной ГИС, достаточных для интегрированного представления информации о городском хозяйстве в степени целесообразной решаемым в муниципалитетах задачам.
- 3) Разработка способа представления пространственно-атрибутивной информации в виде массива бинарных матриц для сокращения времени доступа к ней и алгоритмов оперативного анализа разнородных данных в муниципальных ГИС, представленных в интегрированном виде.
- 4) Применение алгоритмов в муниципальной ГИС на основе разработанных теоретико-множественной модели и способа организации доступа к данным, а также анализ достигнутых результатов.

**Методы исследования.** В работе использованы методы теории множеств, реляционной алгебры, методы структурного анализа и проектирования, объектно-ориентированного программирования.

**Научная новизна.** В результате проведенных исследований получены следующие новые результаты.

- 1) Предложена теоретико-множественная модель взаимосвязей объектов муниципальной ГИС, позволяющая представлять атрибутивную информацию о пространственных объектах муниципальной ГИС в интегрированном виде.
- 2) Разработан новый способ интегрированного описания и обработки пространственно-атрибутивной информации об объектах городского хозяйства, в основу которого положены топологические характеристики, представленные в виде массива бинарных матриц.
- 3) Алгоритмы доступа к сложно-структурированной муниципальной информации, основанные на введенной теоретико-множественной модели и предложенном способе описания данных, позволяющие сократить время получения сведений, являющихся основой для принятий решений в муниципальных службах.

**Практическая ценность работы.** Практическая ценность заключается в том, что полученные результаты позволили разработать и внедрить в практику следующие подсистемы муниципальной ГИС:

- 1) подсистема топологического отбора картографической информации на основе задаваемых пользователем правил;
- 2) подсистема интеграции пространственной и атрибутивной информации, осуществляющая взаимодействие между муниципальной картографической основой и единой базой данных о городском хозяйстве;
- 3) подсистема работы с единой муниципальной базой данных, предоставляющая унифицированный интерфейс доступа к:
  - журналам информации по муниципальным объектам и контрагентам, включая учет арендных отношений вместе с арендными начислениями;
  - унифицированным формам со сведениями по объекту;
- 4) подсистема, реализующая арендные начисления, интегрированная с реляционной базой, позволяющая легко производить изменения способов расчета.

Проведенная интеграция разработанных программных средств на основе применения геоинформационных технологий позволила расширить круг решаемых задач, повысить уровень информационной осведомленности городских властей и обеспечить поддержку принятия оперативных решений по вопросам управления городской территорией. При этом, за счет применения разностороннего анализа данных на основе вводимой классификации объектов по их топологическим характеристикам, достигается сокращение времени принятия управленческих решений.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 6-й Международной научно-практической конференции «Управление в социальных и экономических системах» и 9-й, 10-й Международных научно-технических конференциях «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» (Пенза, 2008, 2009 гг.); на 34-й и 35-й Международных молодежных конференциях «Гагаринские чтения» (Москва, 2008, 2009гг.); на 9-й международной научно-технической конференции «Распознавание-2010» (Курск, 2010); на научно-

технических конференциях преподавателей и сотрудников Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета (г. Муром, 2009-2011гг.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 12 статей, 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Из них 3 статьи в журналах из перечня ВАК.

**Личный вклад.** В совместных публикациях личный вклад автора состоит в следующем: [1], [3] – разработаны алгоритмы расчетов и проведена апробация на реальной карте; [4], [5], [6], [7] – разработаны алгоритмы, работающие с ГИС; [8] – разработан алгоритм расчета топологических отношений; [9], [11] – произведена интеграция с ГИС; [14] – разработан алгоритм оперативного обновления данных в ГИС и отслеживания изменений; [15] – разработаны алгоритмы составляющие пакет прикладных программ, а также входящие в состав МГИС.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 92 наименований и приложения. Общий объем диссертации 154 страницы, в том числе 123 страниц основного текста, 8 страниц списка литературы, 22 страницы приложений. Таблиц 1, рисунков 79.

**На защиту выносятся** следующие положения:

1) представление описательной информации о пространственных объектах муниципальной ГИС в интегрированном виде, обеспечивающем поддержку принятия оперативных управленческих решений, возможно за счет применения разработанной теоретико-множественной модели, описывающей взаимосвязи объектов городского хозяйства;

2) сокращение времени анализа пространственной информации для поддержки принятия решений достигается за счет применения разработанного способа интегрированного описания и обработки пространственно-атрибутивной информации, позволяющего выполнять сложно формализуемые запросы к данным МГИС, на основе представления топологических характеристик в виде массива бинарных матриц;

3) разработанные в диссертации алгоритмы доступа к интегрированной муниципальной информации обеспечивают проведение анализа и обработки муниципальных данных для информационной поддержки в сфере принятия оперативных управленческих решений;

4) результаты исследования и практического применения разработанных алгоритмов обеспечения интегрированного доступа к муниципальным сведениям показали сокращение времени получения сложно-структурированных муниципальных данных и, как следствие, более быстрое принятие оперативных управленческих решений в муниципальных службах.

Автор выражает признательность научному руководителю д.т.н., доценту Андрианову Д.Е., а также всему коллективу кафедры информационных систем Муромского института ВлГУ за помощь и постоянную поддержку при выполнении работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, перечислены методы исследования, приведено краткое содержание каждой главы диссертации.

**В первой главе** анализируются существующие автоматизированные системы управления городским хозяйством и подходы к работе с данными, организованные в них. Основой исследования послужили работы М. Эгенгофера, Э. Митчелла, М. Де Мерса и других, описывающие организацию бинарных межобъектных отношений.

Атрибутивная информация, относящаяся к муниципальным, пространственным объектам носит комплексный характер, то есть обладает большим числом взаимосвязей. Поэтому атрибутивные сведения о пространственных объектах в муниципальной ГИС можно назвать семантическими.

Проблема доступа к муниципальным данным возникает в связи с тем, что они имеют сложную структуру и значительный объем. В настоящее время нет систем, обеспечивающих оперативный доступ к разнородной муниципальной информации. В большинстве случаев работа ведется в ручном режиме, что занимает много времени и не позволяет получать доступ к комплексу актуальной информации по объектам. Данные часто хранятся в виде реестровых книг, а картографические сведения в виде сведений геодезической съемки, не всегда актуальных. Даже при наличии систем автоматизации на основе муниципальных ГИС или МИС разносторонняя работа с данными не выполняется. Подходы, реализованные в существующих системах, ориентированы на обработку определенного типа информации, что затрудняет актуализацию и, как следствие, оперативное принятие решений.

В настоящее время есть понимание необходимости внедрения геоинформационных технологий в сфере управления городским хозяйством. Это позволит повысить эффективность управления, поскольку информационное пространство будет связывать администрацию со всеми ее подразделениями, влияющими на жизнь города.

Однако в области внедрения существует ряд проблем:

- отсутствует четкое понимание роли ГИС - выделение её как самостоятельной подсистемы вокруг которой строится МИС, либо понимание ее роли в качестве блока для картографических задач, тогда как остальные решаются посредством МИС, интегрирующей атрибутивные данные о городе;
- для семантической информации, агрегирующей сведения о городе, отсутствует общепринятая структура, детализирующая связи между сущностями и регламентирующая перечень атрибутов;
- в существующих муниципальных ГИС есть поддержка работы с атрибутивными данными, но способы представления доступа к ним и их визуализации ориентированы на картографическое отображение;
- в плане внедрения программного обеспечения, автоматизирующего процесс управления муниципалитетом, основным требованием является сокращение времени доступа к взаимосвязанной информации о муниципальных объектах;
- в существующих системах отсутствуют гибкие способы работы с картографическими данными в плане быстрой аналитической обработки.

Существующие программные системы могут предоставить доступ к информации связанной с земельным участком, строением либо другим объектом, однако контекст данной информации не учитывается. Рядом с анализируемыми объектами могут располагаться другие объекты, информация о которых находится в той или иной зависимости от исходного. Оперативное получение таких сведений является актуальной задачей, реализация которой ускорит принятие управленческих решений.

При реализации одновременной работы с разнородными данными лицо принимающее решение (ЛПР) получит возможности:

- для выбранного объекта узнать семантические сведения;
- для полученной семантики находить другую, имеющую отношение к ней;

- соотносить семантику и пространственные характеристики объектов;
- работать с семантическими данными, как в контексте ГИС, так и напрямую;
- иметь возможность оперативного доступа к пространственной информации;
- работать с объектами на основе пространственных и атрибутивных запросов.

Примером реализованного подхода к работе с пространственными и семантическими данными является анализ пространственных объектов, приведенный в приложении к диссертации.

На основе анализа существующих программных систем поддержки управления муниципальной инфраструктурой и принципов организации работы с их данными ставится цель – сокращение времени доступа к разнородной, сложно-структурированной муниципальной информации, что позволит обеспечить поддержку принятия оперативных управленческих решений. Для этого необходима разработка новой модели описания муниципальных данных, способа быстрого выполнения пространственного анализа и ряда алгоритмов доступа к интегрированным данным для решения практических задач.

**Во второй главе** дано теоретико-множественное описание сущностей модели данных городского хозяйства и их связей, приведена математическая модель интеграции пространственной информации и атрибутивных данных. Описан способ проведения пространственного анализа, основанный на обработке топологической информации, представленной в виде массива бинарных матриц, позволяющий сократить время получения данных для принятия управленческих решений в муниципальных службах.

Городское имущество представлено разными типами объектов: здания и помещения, земельные участки, инженерная инфраструктура, транспорт, рекламные места и прочее. Общее правило муниципального управления - с объектом на основании документа по отношению к клиенту производятся операции движения. Каждая операция движения связывается с объектом городского хозяйства. Непосредственно к операции привязываются документы (например - разрешение на аренду) и контрагенты (участвующие в операции полностью или частично). Контрагенты обладают своим пакетом документов. С каждой операцией движения связаны обязательства по оплате, определяющие расчеты с контрагентами.

Для описания муниципальных данных введено 31 множество, каждое содержит наборы атрибутов объектов городского хозяйства. На их основе построена схема данных, включающая 41 комбинацию этих множеств и позволяющая рационально описать городское хозяйство, применительно к задачам комитета управления муниципальным имуществом.

С картографическими объектами, как правило, связан блок семантических атрибутов, принадлежащий множеству  $A$ . Поэтому множество картографических объектов  $O$  можно представить как множество упорядоченных пар, являющееся подмножеством прямого произведения  $P \times A$  (декартово):

$$O = \{(p, a): p \in P, a \in A, p = f(a)\}, \quad (1)$$

где  $p$  – пространственная составляющая муниципального объекта,  $a$  – семантический блок атрибутов,  $f$  – биективное отображение из множества пространственных составляющих во множество семантических атрибутов,  $f: P \rightarrow A$ .

При таком задании атрибуты и пространственное расположение объектов представляются в компонентах соответствующего кортежа. Тогда,

$$O_i = \langle p, a \rangle. \quad (2)$$



Элемент семантических атрибутов можно представить как кортеж, или  $n$ -арное отношение на множестве  $A$ , функциональное по первой компоненте:

$$a = \langle k, p, a_1, \dots, a_n \rangle, \quad (3)$$

где  $k \in N$  – первичный ключ отношения,  $p \in P$  – пространственная составляющая,  $a_i$  – константы соответствующие семантической информации,  $n$  – общее число атрибутов связанных с муниципальным объектом,  $N$  – множество натуральных чисел.

При таком описании мы можем сформулировать отображение  $f$ :

$$f(a) := (p, a), \text{ если } p = (a_i)_p, \text{ иначе } \emptyset. \quad (4)$$

При этом следует понимать, что обратное отображение также верно. То есть в информационную модель муниципального объекта необходимо внести пространственную составляющую  $p \in P$ . Это обеспечит интеграцию данных в рамках МГИС.

Для повышения скорости обработки пространственной информации указанная выше модель расширяется интегрированным описанием пространственных характеристик объектов. На их основе можно формировать условия соответствия одного объекта или их группы некоторому набору правил. Контекст поиска на множестве картографических объектов можно представить четверкой:

$$S = (O, R, V, Z), \quad (5)$$

где  $O$  – множество объектов, из которого производится выборка,  $R$  – множество отношений между объектами,  $V$  – множество составных частей объекта,  $Z$  – множество запросов на выборку искомых объектов.

Для последовательности исследуемых объектов  $o \in O$  основой формирования множества  $R$  станут топологические отношения:  $X = \{ \text{‘изолированность’}, \text{‘соседство’}, \text{‘близость’}, \text{‘удаленность’}, \text{‘пересечение’}, \text{‘вложенность’} \}$ . (6)

Множество  $Z$  запросов на поиск картографических объектов можно определить как совокупность скомбинированных логическими операциями элементов  $X_i$  – правил, и самих элементов  $Z_i$  – комплексных правил. При таком задании мы приходим к определению  $R$  как неупорядоченной последовательности топологических матриц:

$$R_k [i, j] = o_i X_k o_j, \quad \forall i = 1..n, \quad \forall j = 1..n, \quad (7)$$

где  $k$  – номер матрицы, определяющий тип отношения  $k = 1..6$ ,  $n$  – число картографических объектов,  $i, j$  – порядковые номера объектов.

Задачу формирования поискового контекста можно определить: на основе правил, представляющих собой комбинацию элементов  $X$ , сформировать матрицы множества  $R$ , определяя топологические отношения как бинарные и рассматривая их как классифицирующие признаки для пары объектов.

Анализируя сущность межобъектных взаимосвязей, можно отметить следующий факт: разные отношения между парой объектов являются зависимыми друг от друга. Возможный граф, отображающий порядок расчета топологических характеристик:  $\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6\}$ ,  $\{(X_1, X_2), (X_3, X_2), (X_4, X_2), (X_2, X_5), (X_5, X_6)\}$ .

Опишем многомерный массив бинарных матриц, хранящих информацию о межобъектных топологических отношениях, каждая из которых это кортеж на множестве, представляющем пространственные объекты, для которых определяется конкретная пространственная взаимосвязь. Решение задачи быстрого выполнения пространственных запросов это организация вышеуказанных матриц топологических правил на первоначальном этапе работы алгоритма, дальнейшая работа с этими

матрицами будет производиться с минимальными задержками. Мы получаем куб со слоями в виде двухмерных массивов, изображенных на рисунке 1.

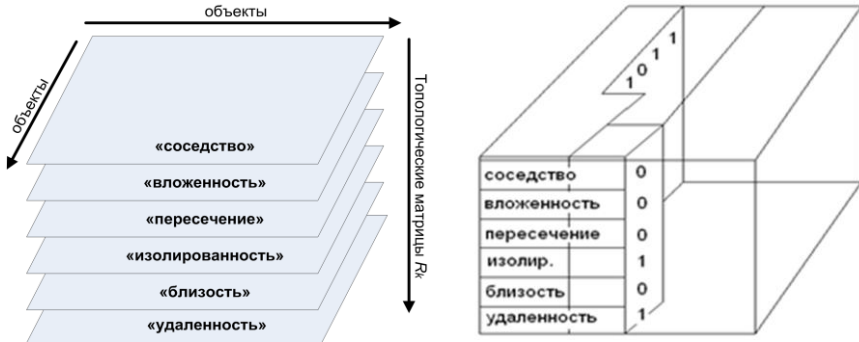


Рис. 1. Массив матриц топологических отношений

Элементами матриц являются бинарные значения, указывающие наличие “1” или отсутствие “0” одного из отношений между объектами, определяемыми порядковыми номерами столбца и строки. Например, пусть выполняется поиск объектов пространственным запросом по отношению к объекту, заданному идентификатором. При этом анализируется каждый слой куба, относящийся к запросу, и в нем выбираются подстроки матриц, соответствующие этому номеру. Они формируют срез, содержащий номера интересующих пользователя объектов. Для всех элементов со значением «1» пользователь сможет получить интересующий его набор взаимосвязанных атрибутов на основе отображения  $f(p)$ .

Основной проблемой при организации пространственных запросов является высокая трудоемкость на первоначальном этапе формирования топологических матриц. Для ее уменьшения предлагается ввести возможность конкретного указания слоев и стилей карты, объекты которых должны анализироваться при отборе. Таким образом, будет достигнуто значительное уменьшение объема памяти и временных затрат за счет конкретизации класса объектов, подлежащих поиску и использования матриц, содержащих межобъектные топологические отношения и хранящихся в оперативной памяти, сканирование которых происходит с высокой скоростью.

Для конкретного класса объектов задается бинарная структура отношений, поэтому в основу пространственного запроса будут заложены бинарные операции сравнения. Непосредственно алгоритм анализа должен сформировать такое результирующее множество  $S$  интересующих пользователя объектов, в котором каждый элемент удовлетворяет всем выбранным правилам из множества  $Z$ . То есть:

$$S = \{(o_1, o_2): Z_i(o_1, o_2) = \text{истина}, o_1 \in O, o_2 \in O\}, \quad (8)$$

где  $o_1, o_2$  – пара картографических объектов, для которых проверяется правило.

Из изложенного во второй главе следуют два первых защищаемых положения:

1) представление описательной информации о пространственных объектах муниципальной ГИС в интегрированном виде, обеспечивающем поддержку принятия оперативных управленческих решений, возможно за счет применения разработанной теоретико-множественной модели, описывающей взаимосвязи объектов городского хозяйства;

2) сокращение времени анализа пространственной информации для поддержки принятия решений достигается за счет применения разработанного способа интегрированного

описания и обработки пространственно-атрибутивной информации, позволяющего выполнять сложно формализуемые запросы к данным МГИС, на основе представления топологических характеристик в виде массива бинарных матриц;

**В третьей главе** проведена разработка алгоритмов, реализующих способ интегрированного доступа к муниципальным данным и алгоритма топологического отбора картографических объектов. Суть интегрированного доступа заключается в одновременном получении и анализе пространственных и атрибутивных характеристик объектов муниципального управления.

Способ интегрированного доступа на основе выполнения пространственного анализа заключается в следующем:

- 1) пользователь указывает слои и стили, объекты которых примут участие в анализе (в инструментальной ГИС слой и стиль определяются уникальным номером, обозначим его  $ID$ );
- 2) происходит обработка множества объектов по правилу:

$$R_k [i, j] = x(o_i, o_j), (o)_{STYLE\_ID} = ID \text{ AND } (o)_{LAYER\_ID} = ID \quad \forall x \in X, o \in O, \quad (9)$$

где  $i, j = 1..n$  - индексы,  $n$  – количество объектов,  $x$  – топологическое отношение;

- 3) формируются простые (топологические отношения) или сложные (комбинация топологических отношений) правила отбора объектов (множество  $Z$ );
- 4) отбор осуществляется посредством анализа каждой топологической матрицы (для каждой формируется свой список  $S$  соответствующих объектов):

$$S = \{s_j : s_j = \text{GetID}(i), \text{ если } R_k [i, j] = 1\}, \quad (10)$$

где  $\text{GetID}$  – оператор получения идентификатора объекта по его номеру;

- 5) для составного правила производится объединение списков  $S$  в соответствии с его компоновкой (конъюнкция, дизъюнкция, отрицание):

$$Z = S_1 (\text{and, or, not}) S_2 \dots S_n, \quad (11)$$

где  $n$  – число простых правил.

Результат в виде множества отобранных картографических объектов предоставляется для просмотра на электронной карте и получения по каждому отобранному объекту связанной с ним атрибутивной информации.

Приводятся алгоритмы оперативного анализа и обработки данных об объектах муниципальной собственности, которые могут использовать результаты работы описанного выше метода для оперативного доступа к пространственной информации в контексте необходимости принятия решения.

Определим следующие множества:

- 1) объект городского хозяйства:
  - множество отношений базовых атрибутов –  $B$ 

$$B = \{b_i\}; \quad (12)$$
  - ценовая оценка кадастровых кварталов, содержащих земельные участки на основе удельного показателя кадастровой стоимости  $UpKS = \{upks_i\}; \quad (13)$
- 2) земельные участки  $(B)x(ZU)x(ZC)x(KT); \quad (14)$
- 3) собственники земельных участков  $(Ow)x(UL)x(FL)x(RI)x(PR); \quad (15)$
- 4) собственники строений  $(SoW)x(UL)x(FL); \quad (16)$
- 5) арендаторы  $(AR)x(UL)x(FL)x(Isp)x(TU)x(KTG). \quad (17)$

*Алгоритм генерализации земельных участков по признаку принадлежности к муниципальной собственности для планирования застройки и контроля правил землепользования.*

В данном случае генерализация означает формирование подмножества  $M = \{m_k\}$  ( $k = 1..n$ ), исходного множества картографических объектов  $O$  определяемого формулой (2), где  $n$  – определяет мощность формируемого массива данных и в предельном случае совпадает с размерностью исходного.

При этом индивидуальные константы  $a \in A$  множества атрибутов входящие в выражение (3) должны определяться исходя из набора объектов земельных участков определенных как (14) с помощью некоторой операции извлечения.

В свою очередь для визуализации на карте необходимо применять множество, построенное на основе выражения (14) для обеспечения доступа к пространственной составляющей интегрированного представления через множество  $B$ . Работа с пространственной составляющей ведется на основе выражений (9), (10), (11) через задаваемые лицом, принимающим решения запросы.

Операцией извлечения атрибутивной информации по пространственным объектам назовем функцию  $\Phi_1(ZU, p)$  возвращающую набор атрибутов соответствующих элементу множества  $ZU_i$ , либо в данном конкретном случае  $\Phi_i(ZU, p) = \{(p, (ZU_p)_{x2})\}$ . Фактически приведенная выше формула соответствует отображению  $f: P \rightarrow A$ , определенному выражением (4). Тогда  $a = f(p)$ ,  $f(p) = \Phi_1(ZU, p)$ .

Таким образом, итоговая формула формирования набора объектов для проведения генерализации имеет вид:

$$M = \{m_k; m_k \in O, m_k = \Phi_1(ZU, p), \text{ если } (ZU_p)_{x2} = \text{истина}\}, \quad (18)$$

где  $m_k$  – картографический объект (земельный участок) обладающий требуемой в данном контексте характеристикой: признаком принадлежности к муниципальной собственности, а также любыми другими доступными из единой реляционной базы. При этом необходимо отметить что  $\forall m_k \in M : R_k [i, j] = (m_k)_i X_k (m_k)_j, \forall i = 1.. n, \forall j = 1.. n, k = 1..6, R_k [i, j] = \text{истина}$ .

Алгоритм работы можно сформулировать следующим образом:

- 1) на основе способа выполнения пространственного анализа по бинарным матрицам сформировать перечень пространственных объектов;
- 2) для каждого полученного объекта посредством выражения (18) сформировать множество  $M$ ;
- 3) для каждого полученного элемента  $(M)_p$  произвести визуализацию на карте.

*Алгоритм генерализации пространственных объектов, находящихся в долевой собственности/аренде для контроля правил землепользования.*

Формируется подмножество  $M$  картографических объектов, как и в предыдущем подразделе. Константы  $a \in A$  множества атрибутов входящие в выражение (3) должны определяться исходя из набора объектов  $B$  определенных как (12) с помощью некоторой операции извлечения.

Для визуализации на карте необходимо применять виртуальное множество, определенное на основе выражения (15) для обеспечения доступа к сведениям, обеспечивающим критерий генерализации – в данном случае это количество долевых собственников/арендаторов и их атрибуты.

Операцией извлечения атрибутивной информации по отношениям собственности/аренды назовем функцию  $E(B, p)$  возвращающую набор атрибутов соответствующих элементу множеств (15), либо (16), либо (17). Конкретный тип множества определяется на основе значения  $(B)_{x_5}$ . При этом формируется некоторое множество собственников, связанных с конкретным объектом:  $S = \{s_j\}$ , где  $s_j = \langle x_j..x_n \rangle$ ,  $x$  – некоторый атрибут собственника характерный для конкретного типа объекта.

При решении данной задачи отображение  $f$  определим как:  $f(p) = S = E(B, p)$ ,

$$E(B, p) = \begin{cases} (p, (Ow) \times (Ul) \times (Fl) \times (RI) \times (PR)) - \text{если } (B)_{x_5} - \text{земельный участок} \\ (p, (DI) \times (SoW) \times (D)) - \text{если } (B)_{x_5} - \text{строение} \\ (p, (AR) \times (UL) \times (FL) \times (Isp) \times (TU) \times (KTG)) - \text{если анализируется аренда} \end{cases}$$

При этом становится доступна генерализация, как по количеству собственников/арендаторов, так и по конкретным атрибутивным характеристикам.

Таким образом, итоговая формула формирования набора объектов для проведения генерализации имеет вид:

$$M = \{m_k: m_k \in O, m_k = E(B, p), \forall m_k \in M: R_k[i, j] = (m_k)_i X_k(m_k)_j, \forall i = 1..n, \forall j = 1..n, k = 1..6, R_k[i, j] = \text{истина}\} \quad (19)$$

Алгоритм работы можно сформулировать следующим образом:

- 1) определить тип объекта, участвующего в анализе, и получить перечень искомых объектов на основе способа выполнения пространственного анализа;
- 2) для каждого полученного пространственного объекта посредством выражения (19) сформировать множество  $M$ ;
- 3) для каждого элемента  $(M)_p$  произвести визуализацию на карте в соответствии с критерием количества собственников/арендаторов либо с учетом конкретных значений  $(S_i)_x$ .

*Алгоритм определения отклонения удельного показателя кадастровой стоимости по видам разрешенного использования от среднего значения с визуализацией для контроля правил землепользования.*

Картографические объекты также представим подмножеством  $M$ . Элементы  $a \in A$  множества атрибутов входящие в выражение (3) определяются аналогичным образом. При этом операция извлечения определяется как  $\Phi_2(ZU, p) = \{(p, (ZU_p)_{upks})\}$ . Итоговое выражение для множества имеет вид:  $M = \{m_k: m_k \in O, m_k = \Phi_2(ZU, p), \forall m_k \in M: R_k[i, j] = (m_k)_i X_k(m_k)_j, \forall i = 1..n, \forall j = 1..n, k = 1..6, R_k[i, j] = \text{истина}\}$ . (20)

Алгоритм работы можно сформулировать следующим образом:

- 1) отобрать все земельные участки, присутствующие на карте с целью получения их топологических характеристик;
- 2) для каждого полученного объекта посредством выражения (20) сформировать множество  $M$ ;
- 3) для множества  $ZU$  определить среднее значение кадастровой стоимости  $\frac{\sum (ZU_p)_{upks}}{|ZU|}$ ;
- 4) для каждого элемента  $(M)_p$  произвести визуализацию на карте с учетом критерия отклонения  $(ZU_i)_{upks}$  от среднего значения.

*Алгоритм определения концентрации размещения земельных участков по видам разрешенного использования с визуализацией на карте для контроля правил землепользования и планирования застройки.*

На основе критерия вида разрешенного использования формируется подмножество объектов  $M$ . Элементы множества атрибутов выражения (1) определяются набором  $zu$  определенных как (18) с помощью операции  $\Phi_3$ . В данном случае операция извлечения, основана на выражениях (15), (16) и (17):  $\Phi_3(ZU, p) = \{(p, (RI)_{x1})\}$ , где  $(RI)_{x1} \in (ZU) \times (Ow) \times (RI)$ ,  $(ZU)_p = p$ .

Таким образом, итоговая формула формирования набора объектов для проведения генерализации имеет вид:

$$M = \{m_k: m_k \in O, m_k = \Phi_3(ZU, p), \forall m_k \in M : R_k[i, j] = (m_k)_i X_k(m_k)_j, \forall i = 1..n, \forall j = 1..n, k = 1..6, R_k[i, j] = \text{истина}\} \quad (21)$$

Алгоритм работы можно сформулировать как:

- 1) отобрать все земельные участки, присутствующие на карте на основе способа интегрированного доступа с применением алгоритма топологического отбора;
- 2) для каждого полученного пространственного объекта посредством выражения (21) сформировать искомое множество  $M$ ;
- 3) для каждого элемента  $(M)_p$  выполнить визуализацию, если  $(RI)_{x1}$  удовлетворяет заданному пользователем критерию.

*Алгоритм генерализации муниципальных объектов по принадлежности к собственнику с учетом движения имущества для контроля правил землепользования.*

На основе критерия принадлежности к определенному собственнику муниципального объекта и с учетом передачи имущества формируется подмножество картографических объектов  $M$ . Индивидуальные константы  $a \in A$  множества атрибутов входящие в выражение (1) определяются операцией  $\Phi_4$ . В случае анализа земельных участков операция извлечения, основана на формулах (15), (16) и (17):

$$\Phi_4(ZU, p) = \{(p, (Ow)_{x4})\}, \text{ где } (Ow)_{x4} \in (Ow) \times (ZU) \times (FL) \times (UL), (ZU)_p = p. \quad (22)$$

Таким образом, итоговая формула формирования набора объектов для проведения генерализации совпадает с выражением (22), с той разницей, что используется операция  $\Phi_4$ .  $M = \{m_k: m_k \in O, m_k = \Phi_4(ZU, p), \forall m_k \in M : R_k[i, j] = (m_k)_i X_k(m_k)_j, \forall i = 1..n, \forall j = 1..n, k = 1..6, R_k[i, j] = \text{истина}\} \quad (23)$

Алгоритм работы можно сформулировать следующим образом:

- 1) отобрать все земельные участки, присутствующие на карте с целью получения их топологических характеристик на основе описанного способа выполнения пространственного анализа;
- 2) для каждого найденного объекта городского хозяйства посредством (23) сформировать множество  $M$ ;
- 3) для каждого элемента  $(M)_p$  выполнить визуализацию всех объектов в соответствии со статусом  $(Ow)_{x4}$ , если элементы множеств  $FL$  или  $UL$  соответствуют искомому собственнику.

Результаты третьей главы обосновывают следующее защищаемое положение: разработанные в диссертации алгоритмы доступа к интегрированной муниципальной информации, обеспечивают проведение анализа и обработки муниципальных данных для информационной поддержки в сфере принятия оперативных управленческих решений.

**В четвертой главе** рассматривается структура МГИС в контексте доступа к информации о пространственно-распределенных объектах городского хозяйства. Показан процесс принятия решений при использовании существующих программных продуктов и при внедрении предлагаемой МГИС.

На основании анализа законодательных постановлений, регламентирующих деятельность муниципальных служб, в том числе комитета управления муниципальным имуществом, можно укрупненно выделить следующие задачи:

- осуществление контроля над поступлениями в бюджет города средств от приватизации и использования имущества муниципальной собственности;
- принятие решения о приватизации (либо об отказе) земельных участков, на которых расположены объекты недвижимости и другого имущества;
- формирование сведений о земельных участках, на которые у муниципального образования возникает право собственности.

Процесс доступа к данным для принятия управленческих решений в предлагаемой МГИС и существующих системах обобщенно представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Обобщенная структура процесса принятия управленческих решений

**В пятой главе** проводится исследование алгоритмов доступа к данным на основе их интегрированного представления. От того насколько быстро организуется выборка данных зависит качество принятия решений. Поиск муниципальной информации носит итеративный характер, и скорость работы каждого шага в конечном итоге влияет на временные задержки в принятии управленческих решений. Исследование проводилось на тестовых и реальных городских картах. Изучалась работа отдельных расчетных топологических процедур – поиск объектов по простым правилам. Обобщая графики, можно указать на то, что отбор по матрицам имеет значительное преимущество в скорости работы – масштабирование для сопоставимого отображения составило  $\times 10^3$ .

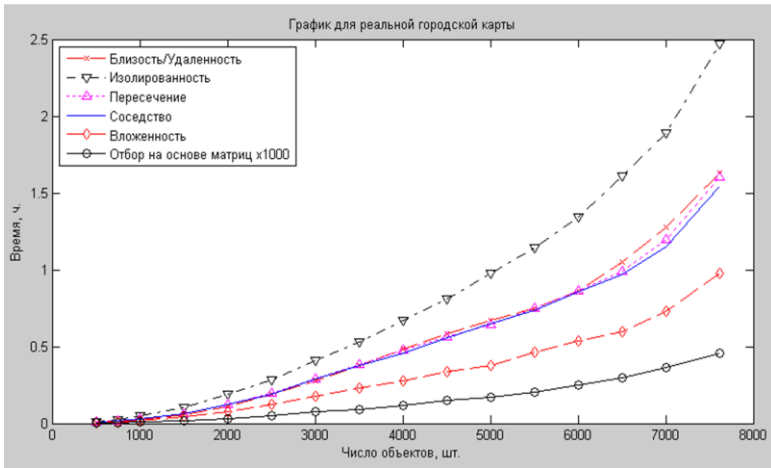


Рис. 3. Результаты исследования алгоритма выполнения пространственного анализа для отдельных топологических правил на реальной городской карте

Исследование типовых запросов показало связь времени их выполнения с быстротой расчетов простых топологических процедур. При использовании массива бинарных матриц сокращение времени работы в сравнении с обычным способом поиска составляет значение порядка  $\sim 10^3$ . Это имеет особенное значение при повторении запросов на поиск объектов.

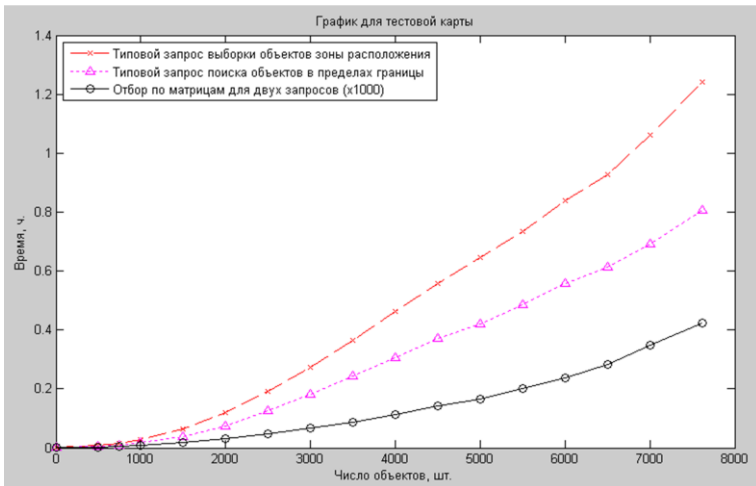


Рис. 4. Результаты исследования алгоритма выполнения пространственного анализа на типовых запросах для реальной карты города

При исследовании алгоритмов решения задач управления городским хозяйством основной анализируемой характеристикой являлось влияние применения интегрированного представления информации и способа выполнения пространственного анализа на основе бинарных матриц при организации доступа к данным связанным с решением определенного круга задач.



Пятая глава обосновывает последнее защищаемое положение: результаты исследования и практического применения разработанных алгоритмов обеспечения интегрированного доступа к муниципальным сведениям показали сокращение времени получения сложно-структурированных данных и, как следствие, быстрое принятие оперативных управленческих решений в муниципальных службах.

**В заключении** сформулированы основные теоретические и практические результаты, полученные в ходе работы над диссертацией.

- 1) Проведен анализ существующих автоматизированных систем управления городским хозяйством и организации работы с данными в них, определивший основные направления исследований.
- 2) Предложена теоретико-множественная модель взаимосвязей объектов муниципальной ГИС, основанная на описании топологических характеристик в виде массива бинарных матриц, позволяющая представлять пространственную информацию в интегрированном виде.
- 3) Разработан способ пространственного анализа, основанный на совместной обработке разнородных данных, позволяющий выполнять сложно-формализуемые запросы для получения различных сведений.
- 4) Разработаны алгоритмы интегрированного доступа к сложно-структурированной муниципальной информации, основанные на введенной теоретико-множественной модели и предложенной структуре описания данных, позволяющие ускорить принятие решений в муниципальных службах.
- 5) Разработаны подсистемы, основанные на предложенном способе интегрированного доступа и алгоритмах:
  - подсистема топологического отбора картографической информации;
  - подсистема интеграции пространственной и атрибутивной информации;
  - подсистема работы с единой муниципальной базой данных;
  - подсистема, реализующая арендные начисления в контексте единой реляционной базы данных;
- 6) Проведены экспериментальные исследования разработанных алгоритмов, которые показали, что уменьшение времени поиска и отбора объектов достигает значений трех порядков, на участке реальной карты, содержащей 8000 пространственно-распределенных объектов.
- 7) Результаты проведенных исследований внедрены в комитете управления муниципальным имуществом администрации округа Муром.

#### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

##### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Д.Е. Андрианов, М.С. Соколов «Использование топологических правил при пространственном анализе картографических объектов» // Известия вузов. Приборостроение. Т. 53, № 9, 2010.– С. 14-19.
2. М.С. Соколов «Применение алгоритма топологического анализа при решении задач городского хозяйства в МГИС» // Известия ЮФУ. Технические науки. Т. 114, №1, 2011.– С. 150-156.
3. Д.Е. Андрианов, М.С. Соколов «Информационная модель представления данных в муниципальных геоинформационных системах» // Геоинформатика, №1, 2012.– С. 58-66.

### **Свидетельства о регистрации объектов интеллектуальной собственности**

4. Соколов М.С., Булаев А.В., Андрианов Д.Е. Модуль широкоформатной печати // РОСПАТЕНТ. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007613961 от 14.09.2007.
5. Соколов М.С., Булаев А.В., Андрианов Д.Е. Модуль поддержания актуальности объектно-коммуникационной карты // РОСПАТЕНТ. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007614672 от 9.11.2007.
6. Соколов М.С., Булаев А.В., Андрианов Д.Е. Пакет прикладных программ для муниципальных ГИС // РОСПАТЕНТ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008612520 от 22.05.2008.
7. Соколов М.С., Булаев А.В., Андрианов Д.Е. Модуль построения зоны затопления по векторной карте // РОСПАТЕНТ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008610779 от 15.02.2008.

### **Публикации в других изданиях**

8. Соколов М.С., Булаев А.В. Применение топологических отношений при обработке данных муниципальных карт // Города России: проблемы строительства, инженерно-обеспечения, благоустройства и экологии: сб. статей X Международной научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2008.– С. 197-200.
9. Соколов М.С., Булаев А.В. Разработка подсистемы МГИС ввода информации отдела управления архитектуры и градостроительства // Алгоритмы методы и системы обработки данных: сборник научных статей. – М.: «Центр информационных технологий в природопользовании», 2008.– С. 123-127.
10. Соколов М.С. Интеграция данных адресного реестра с данными муниципальной ГИС // Алгоритмы методы и системы обработки данных: сборник научных статей. – М.: «Центр информационных технологий в природопользовании», 2008.– С. 119-123.
11. Соколов М.С., Булаев А.В. Разработка подсистемы МГИС ввода информации отдела управления архитектуры и градостроительства // Информационно-вычислительные технологии и их приложения. IX Международная научно-техническая конференция: сборник статей. – ПЕНЗА: РИО ПГСХА, 2008.– С. 285-288.
12. Соколов М.С. Данные адресного реестра в контексте муниципальной ГИС // Управление в социальных и экономических системах. VI Международная научно-практическая конференция: сборник статей. – ПЕНЗА: РИО ПГСХА, 2008.– С. 116-119.
13. М.С. Соколов Проектирование муниципальной информационной системы // Системы и методы обработки и анализа данных: сборник статей молодых исследователей; Выпуск 1; Владим. Гос. ун-т – Владимир: Изд-во Владим. Гос. ун-та, 2009.– С. 64-72.
14. Соколов М.С., Булаев А.В. Первоначальное наполнение и изменение данных в ГИС // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: сб. научных статей. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006.– С. 63-67.
15. Соколов М.С., Булаев А.В. Пакет прикладных программ для решения задач городского хозяйства // XXXIV Гагаринские чтения. Научные труды Международной молодежной конференции в 8 томах. Москва, 1-5 апреля 2008 г. – М.: МАТИ, 2008. – Т.4. – С. 51-54.
16. Соколов М.С. Алгоритмы анализа и обработки данных об объектах муниципальной собственности в МГИС // Алгоритмы методы и системы обработки данных: сборник научных трудов. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2010. – 206 с.: ил. – С. 170-178.

Подписано в печать 26.03.2012. Формат 60x84 1/16.  
Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс. Печать ризография.  
Усл. печ.л. 3,02. Тираж 100 экз. Заказ № 2249.  
Муромский институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
Издательско-полиграфический центр.  
Адрес: 602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, 23.

